

(51)Int.Cl.
G 0 1 N 23/22
23/20

識別記号

F I
G 0 1 N 23/22
23/20テ-マ-ト[®] (参考)
2 G 0 0 1

審査請求 未請求 請求項の数2 OL (全4頁)

(21)出願番号 特願2001-38518(P2001-38518)
(22)出願日 平成13年2月15日 (2001.2.15)(71)出願人 000102739
エヌ・ティ・ティ・アドバンステクノロジ
株式会社
東京都新宿区西新宿二丁目1番1号
(71)出願人 000004097
日本原子力研究所
東京都千代田区内幸町2丁目2番2号
(72)発明者 村松 康司
兵庫県佐用郡三日月町光都1丁目1番1号
日本原子力研究所 関西研究所内

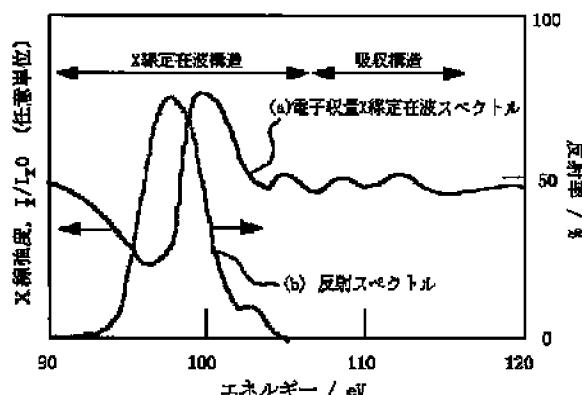
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 多層膜の評価方法および装置

(57)【要約】

【課題】 X線を多層膜試料に照射して、層構造や界面粗さを非破壊で評価することを目的とする。

【解決手段】 本発明の多層膜評価方法は、所定のエネルギー（または波長）のX線を多層膜試料に照射して多層膜に流れる試料電流量の入射光エネルギー（または波長）依存性を計測することを介して電子収量X線定在波スペクトルを測定し、該スペクトルの形状から層構造や界面粗さについて評価することを特徴とする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 周期的層構造をなす多層膜の評価方法において、所定のエネルギー（または波長）のX線を多層膜試料に照射して多層膜に流れる試料電流量の入射X線エネルギー（または波長）依存性を計測することにより電子収量X線定在波スペクトルを測定し、このスペクトル形状から層構造や界面粗さについて評価することを特徴とする多層膜評価方法。

【請求項2】 請求項1記載の多層膜評価方法において、所定の入射角に配置した多層膜試料の試料電流量をモニターすることによって電子収量X線定在波スペクトルを計測して層構造や界面粗さを評価するとともに、測定装置内部に設置したX線強度モニターによって多層膜試料で反射されたX線強度の入射X線エネルギー（または波長）依存性を計測することにより、層構造や界面粗さの評価と同時にX線反射率を評価することを特徴とする多層膜評価装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、X線反射素子である多層膜ミラーや周期的多層構造を用いた標準試料、光学デバイス、電子デバイスなどのX線定在波スペクトルを測定することからその層構造や界面粗さについて非破壊で評価するとともに、このX線定在波スペクトル測定と同時にX線反射率を計測する多層膜の評価方法および装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 多層膜における層構造や界面粗さの評価においては、試料を切断した断面形状を電子顕微鏡で観察する手法がもっとも一般的である。また、最近ではX線定在波スペクトル測定から界面粗さについて定量的な分析が可能となることが明らかとなり、試料から発せられる蛍光X線を検出するX線定在波法も用いられるようになってきた（T. Kawamura and H. Takenaka, J. App. Phys., 75, 3806 (1994)）。前者の電子顕微鏡観察では原子レベルでの層構造や層界面を直接観測できるものの、観察している局所的な構造しか評価できないという問題と、観察するために多層膜試料の切断が必要な破壊的分析手法であるという問題がある。一方、後者の蛍光X線を信号として検出するX線定在波法は電子顕微鏡観察と異なり多層膜全体の構造や界面粗さについての平均情報が得られる非破壊分析手法であるが、大掛かりな蛍光X線検出器を用いることから測定装置・手法が複雑化するという問題がある。また、これらの電子顕微鏡観察や蛍光X線を信号とするX線定在波法では、それぞれの測定原理に即した測定装置を必要とするため、多層膜の重要な評価項目である反射率を測定するための反射率測定装置と独立した測定装置を用いる必要がある。すなわち、従来手法では同一の条件下で多層膜の層構造や界面粗さと反射率を同時かつ簡便に測定することが困難で

あり、両評価の信頼性も低下するという問題があった。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 多層膜の評価には、反射率の評価とあわせて非破壊での層構造や界面粗さの評価が必要であり、評価の信頼性を高めるうえでは同一条件下での同時測定が必要であった。しかし、上記のように従来の層構造と界面粗さの評価手法は、破壊分析手法であることや測定装置・手法の複雑化などの課題があった。さらに従来の評価手法では、簡便な測定装置をもって反射率測定と層構造や界面粗さの同時測定を実現することが困難であった。

【0004】 本発明は上記の事情を鑑みてなされたもので、所定のエネルギー（または波長）のX線を多層膜試料に照射して多層膜試料に流れる試料電流を検出信号とし、その試料電流量の入射エネルギー（または波長）依存性を計測する電子収量X線定在波法により層構造や界面粗さを非破壊で評価することを特徴とする。あわせてX線定在波測定と同一条件下でX線反射率を同時測定することにより、多層膜の評価における測定手法の簡便化と信頼性の向上をはかることを目的とする。

【0005】

【課題を解決するための手段】 上記目的を達成するために本発明の多層膜評価方法は、多層膜に流れる試料電流量の入射光エネルギー（または波長）依存性を計測することにより電子収量X線定在波スペクトルを測定し、このスペクトルから層構造の界面粗さについて評価することを特徴とする。

【0006】 また本発明は、前記の多層膜評価方法において、任意の入射角度に設定した多層膜試料の配置をもってX線定在波スペクトルを計測して層構造や界面粗さを評価するとともに、この測定条件のままで試料によって反射されたX線の強度の入射光エネルギー（または波長）依存性を計測することによりX線反射率と層構造や界面粗さを同時計測することを特徴とする。

【0007】

【発明の実施の形態】 以下、図面を参照して本発明の実施の形態例を詳細に説明する。

【0008】 図1は本発明の実施形態を例を示す構成説明図である。シンクロトロン放射光等のX線光源1から放射されたX線は分光器2により単色化される。分光器2を制御するコンピュータ3によって所定のエネルギーに単色化されたX線4は真空排気された多層膜評価装置構5に導かれて、測定試料である多層膜6に照射される。多層膜6は電気的に絶縁された状態で試料ホルダー7によって保持されるとともに、試料ホルダーと絶縁されたリード線8が多層膜6に結線される。なお、試料ホルダー7は試料中心を回転軸として任意の角度に回転駆動できるように施され、試料に対する入射X線の入射角 θ を任意に変えることができる。リード線8は多層膜評価装置構5の外部に置かれた電流計9に導かれ、ここでX線照射によ

って試料に流れる試料電流量 (I_x) が計測される。一方、試料に照射される入射単色X線の強度を計測するために、試料上流に金属メッシュ等でできた光電流計測計10がおかれ、リード線11を介して電流計9に導かれる。ここで、試料に照射される入射単色X線4の強度に比例した光電流量 (I_x0) が計測される。試料電流量 I_x を光電流量 I_x0 で除した値 I_x/I_x0 が試料によるX線の吸収量を表すとともに、試料の周期的層構造による干渉効果として現れるX線定在波を反映することになる。すなわち、分光器2とともに電流計9につながれたコンピュータ3によって、入射単色X線のエネルギー（または波長）を所定の範囲で走査しながら I_x/I_x0 を計測することでいわゆるX線吸収スペクトル（横軸：エネルギーまたは波長、縦軸： I_x/I_x0 ）が得られるが、入射単色X線のエネルギー（または波長）と入射角および試料の周期的層間隔がブラング反射の条件を満たすと、X線吸収スペクトル上にX線定在波スペクトルが重なって観測される。

【0009】上記の多層膜評価装置では、X線定在波スペクトル測定と同一の試料配置で同時に反射率も測定することができる。フォトダイオードなどのX線強度モニター12が試料中心を回転軸として回転駆動するように設置される。X線強度モニター12にはリード線13が結線され、電流計14によってそこでのX線強度が計測される。上記のX線定在波測定と同様に、入射単色X線4のエネルギー（または波長）と入射角および試料の周期的層間隔とがブラング反射の条件を満たすとX線はブラング反射を起こす。したがって、このブラング反射を受ける所定の位置 ($2q$) にX線強度モニター12を配置して、ブラング反射したX線の強度 I_r を計測する。一連の計測の後または前に、試料6を光軸から外してX線強度モニター12を入射単色X線4を直接受ける位置 ($2q = 0^\circ$) に配置して入射単色X線の強度 I_r0 を計測すれば、 $100 \times I_r/I_r0$ (%) が反射率を与える。したがって、 I_r を計測しながら入射単色X線4のエネルギー（または波長）を走査して $100 \times I_r/I_r0$ (%) を縦軸に、入射X線のエネルギー（または波長）を横軸にプロットすれば反射スペクトルが得られ、このピーク高から反射率が求められる。

【0010】すなわち、任意の入射角に設定された多層膜試料に対して、試料電流を計測する電流計と所定の位置にX線強度モニターを配置すれば試料電流 I_x と反射X線強度 I_r を同時に計測することができるため、電子収量X線定在波スペクトルと反射スペクトルを同一条件下で同時に簡便に計測することが可能となる。

【0011】次に、本発明の効果を確認するため、例としてMo/SiC/Si多層膜ミラーのX線定在波スペクトルと反射スペクトルの同時測定例を図2を用いて示す。この多層膜ミラーは90 eV付近の軟X線領域において、斜入射角が 80° 程度の直入射条件でブラング反射をおこすように層構造が設計されたものであり、図2に示すスペクトルはこのブラング条件を満たす入射角とエネルギー領

域で測定されたものである。図中のスペクトル (a) は全電子収量で測定した試料電流 I_x を入射単色X線強度 I_x0 で除した電子収量定在波スペクトルで、90 eV から 105 eV の領域にX線定在波のスペクトル構造が観測される。このX線定在波スペクトル構造を再現するように、層構造や界面粗さを考慮にいれてシミュレーション解析することにより (T. Kawamura, H. Takenaka, and T. Hayashi, J. Electron Spectroscopy and Related Phenomena, 80, 449 (1996))，多層膜試料の層構造および界面粗さを評価することができる。なお、105 eV以上の領域にはSiL吸収端のX線吸収スペクトル構造が観測され、この吸収スペクトル形状からは多層膜表面近傍のSiに関する副次的な化学結合情報を得ることができる。図中のスペクトル (b) は上記のX線定在波スペクトル測定と同時に測定した反射X線の強度 I_r を事前に測定しておいた入射単色X線強度 I_r0 で除した反射スペクトルである。この場合はX線定在波スペクトル構造が観測されるエネルギー領域において反射ピークが観測され、このピーク高が反射率を与える。

【0012】

【発明の効果】以上説明したように、本発明は試料電流をモニターする電子収量X線定在波スペクトルを測定することにより非破壊でかつ簡便に多層膜の層構造や界面粗さを評価できるとともに、このX線定在波スペクトル測定と同時に反射スペクトル測定が可能となることから、反射率を同一条件下で評価することが可能になる。すなわち、本発明により多層膜の評価における簡便性の向上と迅速化、および信頼性の向上を可能とする。実施例で用いた試料はオージェ電子分光分析や光電子分光分析、蛍光X線分析などの標準試料の深さ方向分析等としても使用されており、分析用の多層膜の界面粗さを含めた層構造も上記実施例で簡単に測定できること、また、同様にして周期構造をもつ光フィルターなどの構造評価が容易にできることは言うまでもない。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施形態を例示す構成説明図である。

【図2】本発明の実施形態例を説明する特性図であり、スペクトル曲線aは多層膜の界面粗さの情報を含むX線定在波スペクトルであり、スペクトル曲線bは同時に測定した反射スペクトルである。

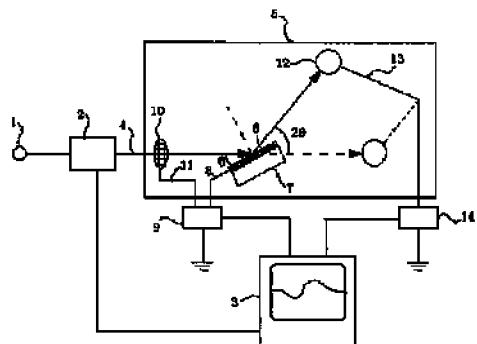
【符号の説明】

- 1 X線光源
- 2 分光器
- 3 コンピュータ
- 4 入射単色X線
- 5 多層膜評価装置構
- 6 多層膜試料
- 7 試料ホルダー
- 8 リード線
- 9 電流計

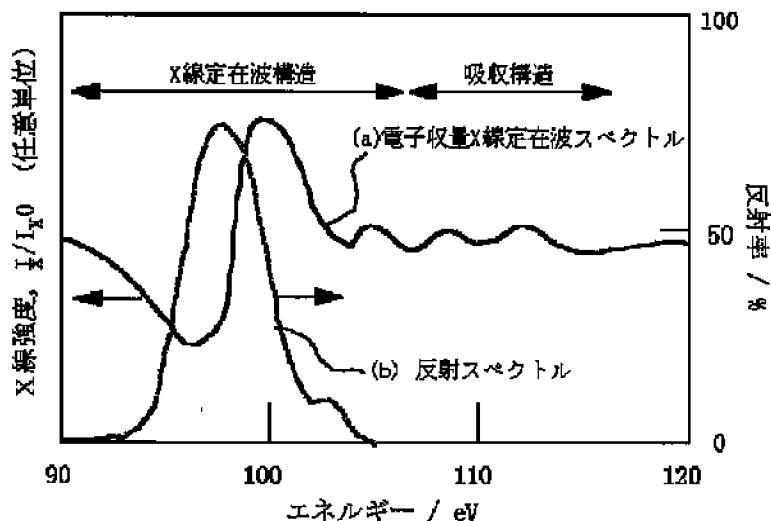
10 光電流計測計
11 リード線
12 X線強度モニター

13 リード線
14 電流計

【図1】



【図2】



フロントページの続き

(72)発明者 竹中 久貴
東京都新宿区西新宿二丁目1番1号 エ
ヌ・ティ・ティ・アドバンステクノロジ株
式会社内

Fターム(参考) 2G001 AA01 AA09 BA07 BA12 BA15
CA01 CA03 DA01 DA02 EA09
GA11 KA13 KA20 LA11 MA05
NA03 NA07 NA15 PA07